

研究论文

采用水流浓度排序法设计多杂质用水网络

潘春晖^{1,2}, 时 静¹, 刘智勇¹

(¹ 河北工业大学化工学院, 天津 300130; ² 沧州师范学院化学系, 河北 沧州 061001)

摘要: 在多杂质用水网络设计中, 过程的执行顺序和水流之间的匹配是两个关键环节。提出了过程水流相对于其他各过程水流的综合浓度势的概念, 水流的综合浓度势反映了该水流与其他所有水流 (包括源水流和需求水流) 相比较时浓度的高低。设计时过程的执行顺序由需求水流综合浓度势的大小来确定, 需求水流综合浓度势最低的过程首先执行。在满足需求水流时, 优先回用虚拟分配量 (用本文给出的方法确定) 最大的可用源水流。源水流向需求水流的分配量可通过杂质负荷衡算及过程极限条件确定。计算实例表明, 本文方法获得的水网络的新鲜水消耗量与最小新鲜水目标值非常接近, 同时, 其计算十分简便。

关键词: 多杂质用水网络; 综合浓度势; 设计; 过程集成

中图分类号: TQ 021.8

文献标识码: A

文章编号: 0438-1157 (2010) 10-2644-07

Design of water-using networks with multiple contaminants by determining concentration order of streams

PAN Chunhui^{1,2}, SHI Jing¹, LIU Zhiyong¹

(¹ School of Chemical Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

² Department of Chemistry, Cangzhou Teachers' College, Cangzhou 061001, Hebei, China)

Abstract: In the design of water-using networks of multiple contaminants, there are two key steps: determining the process executing order and allocating the process streams. In this paper, a new concept, overall concentration potential of demand (OCPD) for the process stream is proposed. The OCPD of a stream reflects the concentration order of a stream compared to all the other streams (including both demand streams and source streams). Compared to the concentration potential concept proposed by Liu *et al* (2009), OCPD can compare the concentration order of a demand stream and that of a source stream. In the design, the process executing order is determined by the values of OCPDs of the demand streams. The process with the lowest inlet OCPD is executed first. When satisfying a demand stream of the process being executed, the source stream with the largest quasi-allocation amount, which is defined in this paper, is used first. A few literature examples are investigated. The results show that the amounts of fresh water consumptions are very close to the minimum fresh water targets, the structures of the designs obtained in this work are not complex compared to that obtained in the literature, and the calculation of the proposed method is very simple.

Key words: water-using network with multiple contaminants; overall concentration potential of demand; design; process synthesis

2009-11-16 收到初稿, 2010-04-26 收到修改稿。

联系人: 刘智勇。第一作者: 潘春晖 (1968—), 男, 副教授, 硕士研究生。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (20776306); 河北省自然科学基金项目 (B2007000017)。

Received date: 2009-11-16.

Corresponding author: Prof. LIU Zhiyong, liuzhiyong@hebut.edu.cn

Foundation item: supported by the National Natural Science Foundation of China (20776306) and the Natural Science Foundations of Hebei Province (B2007000017).

引言

随着人们环保意识的不断增强、废水处理费用的提升以及廉价工业用水的匮乏，节水已成为重要的研究课题之一。用水网络的优化设计已经得到了广泛的关注。

Bagajewicz^[1]对水网络的优化设计和改进方法进行了总结。Foo^[2]介绍了水网络体系的最新研究进展。对水网络设计，各国学者已提出水夹点设计法^[3-6]、数学优化法^[7-10]、中水道技术^[11-12]及其他方法^[13-16]。但已提出的这些方法也不同程度地存在着计算或优化过程复杂、难以达到全局最优等问题，由于多杂质用水系统的复杂性，其设计问题仍具有很大的研究空间。

最近，Liu 等^[17]提出了需求水流浓度势与源水流浓度势的概念，解决了多杂质水流的浓度排序问题，并在此基础上提出了设计多杂质用水网络的新方法。计算实例表明，该方法无需迭代计算，即可得出很好的网络设计。但是，在很多情况下，如果需要对比源水流与需求水流的浓度大小，Liu 等^[17]提出的浓度势概念则有一定局限性。为此，本文将提出一个新的概念，采用该概念可以解决源水流与需求水流浓度比较问题；并在此概念基础上，提出了用水网络设计的新方法。

1 过程水流的综合浓度势

对于单杂质用水系统，需求水流的浓度越低，其回用源水流的可能性越小；源水流的浓度越低，其回用于需求水流的可能性就越大。上述性质同样适用于多杂质用水系统。但是，对于多杂质系统，一般很难按照常规浓度排列各水流的浓度顺序^[17]。Liu 等^[17]提出了浓度势的概念，不能解决需求水流与源水流之间浓度比较问题。而在水网络设计时，需求水流与源水流之间浓度比较问题是很重要的。

对于需求水流和源水流来说，如果不考虑其实际意义，而只是把它们看作是具有一定流量和浓度的水流时，可以从 Liu 等^[17]提出的需求水流排序方法中得到启发，研究过程水流“虚拟”回用其他过程各水流的总体可能性，这样就可以得到所有过程水流（既包括源水流，也包括需求水流）的浓度顺序。

设有 N 个过程， NC 个杂质。对于不同过程的两支水流，将其中一流水 i 虚拟分配给另一单位

量（如 1 t）水流 j ，由文献[17]可得水流 i 分配给单位流量水流 j 的最大虚拟分配流量为

$$R_{i,j} = \min_{k=1,2,\dots,NC} \left(\frac{C_{j,k}}{C_{i,k}} \right) = \frac{C_{j,RKC}}{C_{i,RKC}}$$

$(i,j = 1,2,\dots,NT, \text{且 } i \neq j)$

(1)

其中， NT 为水流的个数， $C_{i,k}$ 、 $C_{j,k}$ 分别是水流 i 、 j 中杂质 k 的浓度， $R_{i,j}$ 表示水流 i 满足水流 j 时的最大虚拟分配率^[17]。作者把决定 $R_{i,j}$ 值大小的杂质称为水流虚拟分配的关键杂质（RKC）。

此处“虚拟分配”的意义包括两点：①被分配的水流的量可能不足以满足“需求”水流的需要；②需求水流事实上不向源水流供水。

式(2) 为水流 j 的综合浓度势的计算式，其物理意义是所有过程水流虚拟满足单位量水流 j 的流量之和。

$$OCPD_j = \sum_{i=1}^{NT} R_{i,j} = \sum_{i=1}^{NT} \min_{k=1,2,\dots,NC} \frac{C_{j,k}}{C_{i,k}}$$

$(i,j = 1,2,\dots,NT, \text{且 } i \neq j)$

(2)

由式(2) 可知， $OCPD_j$ 值仅由各水流的常规浓度来确定， $OCPD_j$ 值能反映出单位量水流 j 被其他过程水流虚拟满足的总体可能性大小。 $OCPD_j$ 值越低，水流 j 的浓度就越低。因此，可由水流的 $OCPD_j$ 值的顺序，得到水流的浓度顺序。

将这种排序方法应用于文献[11]中的例 1（见表 1）。表 2 列出了表 1 用水系统中各水流的综合浓

表 1 例 1 中用水系统的极限数据

Table 1 Limiting data for Example 1 from Ref. [11]

Process	Contaminant	$C_{\max,\text{in}}/\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$	$C_{\max,\text{out}}/\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$	$F_{\max}/\text{t}\cdot\text{h}^{-1}$
1	A	0	50	25
	B	0	100	25
	C	0	50	25
2	A	0	100	70
	B	0	300	70
	C	0	600	70
3	A	20	150	35
	B	50	400	35
	C	50	800	35
4	A	50	600	40
	B	110	450	40
	C	200	700	40
5	A	20	500	8
	B	100	650	8
	C	200	400	8
6	A	500	1100	50
	B	300	3500	50
	C	600	2500	50
7	A	150	900	30
	B	700	4500	30
	C	800	3000	30

度势的值，表 3 对各水流的 OCPD 值顺序与常规浓度顺序进行了比较。由表 3 可以看出，水流 D_3 、 S_1 、 D_4 、 S_3 、 D_7 、 S_7 的 OCPD 值顺序与其常规浓度顺序是一致的，水流 D_5 、 D_4 、 S_2 、 D_6 、 S_4 、 S_6 的 OCPD 值顺序与其常规浓度顺序也是一致的。类似比较结果表明，各水流的综合浓度势顺序与其常规浓度顺序是一致的。通过此例可以看出，本文提出的综合浓度势概念所得到的浓度排序方法是可靠的。

由表 2 及表 3 数据可知，可以根据式(2) 给出的综合浓度势的值比较需求水流浓度与源水流浓度。这一点在某些水网络（如包括再生再利用的网络^[18]、包含中间水道的网络^[19]）设计过程中是非常重要的。

表 2 例 1 中各水流的综合浓度势

Table 2 OCPDs of streams for Example 1

Stream	OCPD		Order
	D_j	S_i	
D_1	0		1
D_2	0		2
D_3	1. 18		3
D_4	5. 20		6
D_5	2. 38		5
D_6	18. 10		9
D_7	20. 82		11
S_1		2. 00	4
S_2		13. 81	8
S_3		12. 96	7
S_4		21. 77	12
S_5		19. 70	10
S_6		112. 23	14
S_7		107. 67	13

表 3 例 1 中各水流的 OCPD 值顺序
与常规极限浓度顺序比较

Table 3 Comparison of order of OCPDs and that of
conventional concentrations for Example 1

Stream	OCPD	$C^{\max}/\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$	$C^{\max}/\mu\text{l}\cdot\text{L}^{-1}$
D_3	1. 18	(20 50 50)	
S_1	2. 00	(50 100 50)	
D_5	2. 38		(20 100 200)
D_4	5. 20	(50 110 200)	(50 110 200)
S_3	12. 96	(150 400 800)	
S_2	13. 81		(100 300 600)
D_6	18. 10		(500 300 600)
S_5	19. 70		
D_7	20. 82	(150 700 800)	
S_4	21. 77		(600 450 700)
S_7	107. 67	(900 4500 3000)	
S_6	112. 23		(1100 3500 2500)

2 源水流向需求水流分配量的计算

在讨论源水流向需求水流分配的问题时，可将源水流 S_i 分配给需求水流 D_j 记为 (S_i, D_j) 。对于多杂质用水系统，Bagajewicz 等^[20]指出，为了尽量节约新鲜水，使用新鲜水的过程至少应有一种杂质的出口浓度达到极限值。对于过程的真实流量为其极限流量的情况，浓度达到极限值的杂质，其入口和出口的杂质负荷都将达到其极限值，可通过杂质负荷衡算来确定源水流的分配量；对于过程的真实流量小于其极限流量的情况，因过程不需要新鲜水，可根据过程中需移除杂质负荷量的条件来确定源水流的分配量。对于源水流分配问题的详细讨论可参见文献[17]。

3 水网络设计步骤和用水匹配方法

用水网络设计的目的之一是尽量减少新鲜水消耗。本文在进行设计时，首先根据需求水流的综合浓度势确定过程执行顺序，然后再确定水流间的分配。具体设计步骤如下。

(1) 确定首先要执行的过程。由用水系统所有过程水流的极限浓度，分别求出各过程水流的综合浓度势 OCPD 的值，需求水流 OCPD(D_j) 值最低的过程首先执行。首先执行的过程通常需要使用新鲜水。

(2) 当一些过程执行完成后，其出口水流成为当前可利用的源水流，此时当前水流就包括了当前源水流和未执行过程的入口水流。由此求出各当前水流的综合浓度势的值。需求水流的 OCPD (D_j) 值最低的过程优先执行。如果有几个过程的 OCPD (D_j) 值相同，则再比较过程出口水流的 OCPD (S_i) 值，OCPD (S_i) 值最低的过程优先执行，从而使产生的源水流便于回用到后续的过程。过程执行顺序的确定方法见图 1。

(3) 满足需求水流的方法如下。

① 首先确定优先回用的源水流。一般来说，具有最大虚拟分配率的源水流优先回用。如果具有最大虚拟分配率的源水流不只一个，OCPD (S_i) 值较高的源水流优先回用，其目的是将 OCPD (S_i) 值较低的源水流供后续过程使用。

② 如果需求水流没有被一个源水流完全满足，用上述方法选择下一源水流，直到该过程被满足为止。

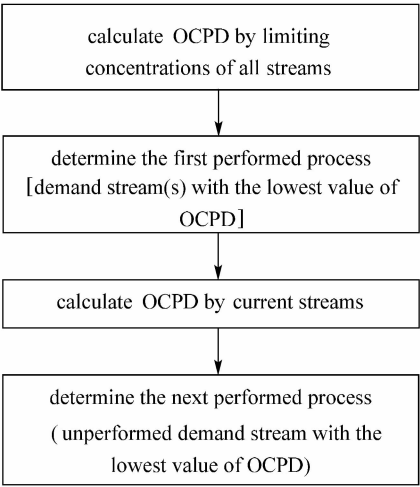


图 1 确定过程执行顺序

Fig. 1 Determining performing order of processes

③ 对于需要新鲜水的过程，如果 RKC 和 FKC（新鲜水关键杂质）^[17] 是同一组分杂质，并且源水流关键杂质的浓度不低于过程出口相应杂质的极限浓度，则不应回用该源水流，该过程要完全使用新鲜水。

（4）接着确定下一执行过程，并进行用水匹配，直到所有过程都执行完为止。

4 实例研究

例 1 本例来自于文献[11]，极限数据见表 1。各过程水流的 OCPD 值列于表 2。

对于过程 1 和过程 2，其综合浓度势最低，且必须使用新鲜水，新鲜水消耗量分别为 $25\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 和 $70\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。此时，当前可用源水流为 S_1 和 S_2 ，待被执行的需求水流为 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 。此时的所有当前水流为 S_1 、 S_2 和 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 。基于这些水流，可计算出各当前水流的 OCPD 值，对于其中的需求水流， D_3 的 OCPD 值最低，过程 3 优先执行。因为 (S_1, D_3) 的最大虚拟分配率大于 (S_2, D_3) 的最大虚拟分配率，所以 S_1 优先回用，回用量为 $14\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ，新鲜水消耗是 $21\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

现在源水流 S_1 的剩余流量为 $11\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ，所有当前水流是 D_4 、 D_5 、 D_6 、 D_7 和 S_1 、 S_2 、 S_3 。基于这些当前水流，用以上相同的方法可计算出各当前水流的 OCPD 值，并确定出过程 5 应优先执行。对于过程 5，因为 (S_1, D_5) 的最大虚拟分配率大于 (S_2, D_5) 的最大虚拟分配率和 (S_3, D_5) 的

最大虚拟分配率， S_1 的 $3.2\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 可以回用，新鲜水消耗量是 $4.8\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

用同样方法可确定出过程 4 将被执行。对于过程 4， (S_1, D_4) 的最大虚拟分配率大于 (S_2, D_4) 的最大虚拟分配率，并且二者都大于 (S_3, D_4) 和 (S_5, D_4) 的最大虚拟分配率，因此，首先将 S_1 剩余的 $7.8\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 全部用于过程 4，然后 $12.07\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 S_2 可被回用，新鲜水消耗量是 $20.13\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

接下来过程 7 将被执行。将 $30\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 S_3 用于满足 D_7 ，本过程不需要补充新鲜水。

最后执行过程 6。对这一过程，由于 S_2 的虚拟分配率最大，因此， $50\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 S_2 可以回用，本过程也不需要补充新鲜水。

至此，本用水系统设计完成。新鲜水消耗量是 $140.93\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ，比文献[11]中的目标值 $139.3\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 高 1.2% ，但明显低于文献[11]的设计值 $160.4\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ，也比 Zheng 等^[21] 采用混合整数非线性规划方法获得的结果 $143.53\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 低。最终的浓度见表 4，表中阴影部分的浓度都达到了极限值。从表中可以看出，所有过程中至少一种杂质的入口浓度和出口浓度达到了极限值。水网络设计见图 2，从图 2 可以看出，本设计的管路数量是 17 个，与文献[11]设计的管路数量相同。

例 2 本例来自于 Doyle 等^[7]，极限数据见表 5。各过程水流的 OCPD 值及其顺序见表 6。本例设计见图 3。新鲜水消耗是 $81.22\text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ ，与 Doyle 等^[7] 采用非线性规划方法得到结果相同。从表 6 中可看出，过程 2 在过程 1 之后执行，需要指出的是，对过程 2， (S_1, D_2) 的 RKC 与 FKC 都是 B。过程 2 的极限出口浓度是 $(300, 270, 740\text{ }\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1})$ ， S_1 的浓度是 $(160, 450, 30\text{ }\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1})$ ，

表 4 例 1 中用水系统各水流的实际数据
Table 4 Final data of streams for Example 1
(where concentrations reaching their maximum are shadowed)

Process	$C^{\text{in}}/\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$			$C^{\text{out}}/\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$			$F/\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$
D_1	0	0	0	50	100	50	25
D_2	0	0	0	100	300	600	70
D_3	20	40	20	150	390	770	35
D_4	39.92	110	190.75	589.92	450	690.75	40
D_5	20	40	20	500	590	220	8
D_6	100	300	600	700	3500	2500	50
D_7	150	390	770	900	4190	2970	30

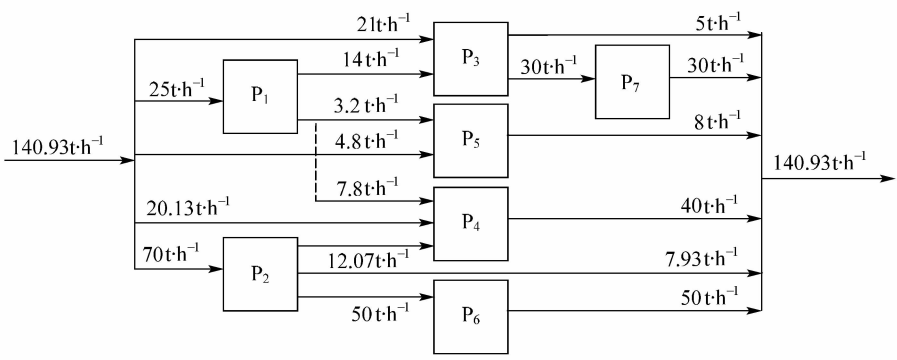


图 2 例 1 的设计图
Fig. 2 Design for Example 1

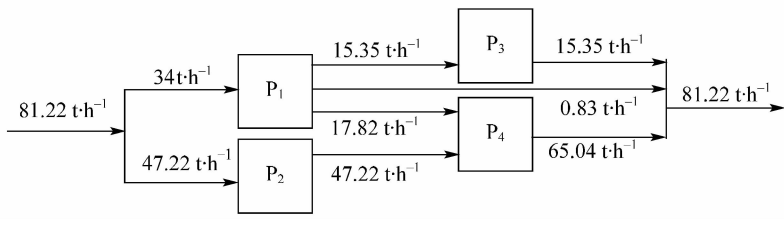


图 3 例 2 的设计图
Fig. 3 Design for Example 2

表 5 例 2 中用水系统的极限数据

Table 5 Limiting data for Example 2 from Ref. [7]

Process	Contaminant	$C^{\max, \text{in}} / \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$	$C^{\max, \text{out}} / \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$	$F^{\max} / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$
1	A	0	160	34
	B	0	450	34
	C	0	30	34
2	A	200	300	75
	B	100	270	75
	C	500	740	75
3	A	600	1240	20
	B	850	1400	20
	C	390	1580	20
4	A	300	800	80
	B	460	930	80
	C	400	900	80

表 6 例 2 中各水流的综合浓度势

Table 6 OCPDs of streams for Example 2

Stream	OCPD	Order
D_1	0	1
D_2	0.74	3
D_3	4.60	6
D_4	3.10	5
S_1	0.30	2
S_2	1.99	4
S_3	12.96	8
S_4	6.75	7

表 7 例 2 中用水系统各水流的实际数据

Table 7 Final data of streams for Example 2
(where concentrations reaching their maximum are shadowed)

Process	$C^{\text{in}} / \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$			$C^{\text{out}} / \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$			$F / \text{t} \cdot \text{h}^{-1}$
D_1	0	0	0	160	450	30	34
D_2	0	0	0	158.82	270	381.18	47.22
D_3	160	450	30	993.61	1166.39	1580	15.35
D_4	159.15	319.31	284.98	774.17	897.43	900	65.04

S_1 的关键杂质浓度 ($450 \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$) 高于过程 2 的极限出口浓度 ($270 \mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$), 因此, 过程 2 完全使用新鲜水, 新鲜水消耗为 $47.22 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ 。过程的最终浓度见表 7。

除以上两个例子外, 采用本文提出的方法计算了其他 3 个文献中的例子, 详见文献[22]。所得设计的新鲜水消耗量与文献中报道的新鲜水消耗目标值相当。

5 结 论

对于多杂质用水系统, 本文在 Liu 等^[17] 提出的浓度势概念的基础上, 提出了过程水流综合浓度势 (OCPD) 的概念, 水流的综合浓度势反映了各水流在整个用水系统中浓度的相对大小。在设计步骤中, 综合浓度势最低的过程首先执行, 在对某一执行过程进行用水匹配时, 虚拟分配量最大的当前

源水流优先回用。源水流向需求水流的分配量可通过杂质负荷衡算或过程需移除杂质负荷量的条件来确定。

对文献中的几个实例进行了研究，结果表明，本文提出的方法对多杂质用水系统能提供很好的设计，所得设计的新鲜水消耗量与文献中报道的新鲜水消耗目标值相当。本文提出的方法优点之一是设计过程简单，无需复杂的迭代或优化运算就能获得很好的设计，且该方法所得设计的管路数量并不比文献中的多，这表明设计结构也并不复杂。

符 号 说 明

$C_{i,k}, C_{j,k}$ ——水流 i 和 j 的 k 杂质的浓度， $\mu\text{l} \cdot \text{L}^{-1}$

D_j ——过程 j 中的需求水流

FKC——过程仅由新鲜水满足时的新鲜水关键杂质

N ——过程个数

NC——水流含杂质个数

NT——过程水流总数

OCPD _{j} ——由式(2) 确定的水流 j 的综合浓度势

P_j ——过程 j

$R_{i,j}$ ——水流 i 满足水流 j 时的最大虚拟分配率

RKC——水流虚拟分配的关键杂质

S_i ——过程 i 中的源水流

(S_i, D_j) ——源水流 S_i 分配给需求水流 D_j

References

- [1] Bagajewicz M. A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants. *Computers & Chemical Engineering*, 2000, **24**: 2093-2113
- [2] Foo D C Y. State-of-the-art review of pinch analysis techniques for water network synthesis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2009, **48**: 5125-5159
- [3] Wang Y P, Smith R. Wastewater minimisation. *Chemical Engineering Science*, 1994, **49** (7): 981-1006
- [4] Wang Y P, Smith R. Time pinch analysis. *Chemical Engineering Research & Design*, 1995, **73**: 905-914
- [5] Kuo W C J, Smith R. Effluent treatment system design. *Chemical Engineering Science*, 1997, **52** (23): 4273-4290
- [6] Kuo W C J, Smith R. Design of water-using system involving regeneration. *Transactions of Institution of Chemical Engineers*, 1998, **76** (B): 94-114
- [7] Doyle S J, Smith R. Targeting water reuse with multiple contaminants. *Transactions of Institution of Chemical Engineers*, 1997, **75** (B): 181-189
- [8] Yang Y H, Lou H H, Huang Y L. Synthesis of an optimal

wastewater reuse network. *Waste Management*, 2000, **20** (4): 311-319

- [9] Hu Yangdong (胡仰栋), Xu Dongmei (徐冬梅), Hua Ben (华贲), Han Fangyu (韩方煜). Step by step linear programming method for wastewater minimization. *Journal of Chemical Industry & Engineering (China)* (化工学报), 2002, **53** (1): 66-71
- [10] Xu Dongmei (徐冬梅), Hua Ben (华贲), Hu Yangdong (胡仰栋), Wang Xiulin (王修林). Progressively nonlinear programming method for wastewater minimization with multiple contaminants. *Computers & Applied Chemistry* (计算机与应用化学), 2003, **20** (6): 790-792
- [11] Wang B, Feng X, Zhang Z. A design methodology for multi-contaminant water networks with single internal water main. *Computers & Chemical Engineering*, 2003, **27** (7): 903-911
- [12] Ma H, Feng X, Cao K. A rule-based design methodology for water networks with internal water mains. *Chemical Engineering Research & Design*, 2007: 431-444
- [13] Li Baohong (李保红), Fei Weiyang (费维扬). The speedy design of water-using network with multiple contaminants by gradual linear programming method. *Journal of Chemical Industry & Engineering (China)* (化工学报), 2005, **56** (2): 285-291
- [14] Zheng Shiqing (郑世清), Zou Liang (邹亮), Yang Xia (杨霞). The improvement and comparison for the design of the water-using network with multiple contaminants. *Computers & Applied Chemistry* (计算机与应用化学), 2007, **24** (11): 1497-1500
- [15] Liu Qiang (刘强), Guang Xu (光绪), Shao Hui (绍辉). The optimal design of the water-using network with multiple contaminants—quality analysis and mathematical programming. *Journal of Chemical Industry & Engineering (China)* (化工学报), 2008, **59** (6): 1441-1447
- [16] Liu Y Z, Duan H T, Feng X. The design of water-reusing network with a hybrid structure through mathematical programming. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2008, **16** (1): 1-10
- [17] Liu Z Y, Yang Y, Wan L Z, Wang X, Hou K H. A heuristic design procedure for water-using networks with multiple contaminants. *AIChE J.*, 2009, **55**: 374-382
- [18] Liu Z Y, Li Y M, Liu Z H, Wang Y J. A simple method for design of water-using networks with multiple contaminants involving regeneration reuse. *AIChE J.*, 2009, **55**: 1628-1633
- [19] He Haina (何海娜), Wan Linzhan (万林战), Liu Zhiyong (刘智勇). A simple design method for water network with multi-contaminant internal water mains. *CIESC Journal* (化工学报), 2010, **61** (5): 1176-1182

- [20] Bagajewicz M J, Rivas M, Savelski M J. A robust method to obtain optimal and sub-optimal design and retrofit solutions of water utilization systems with multiple contaminants in process plants. *Computers & Chemical Engineering*, 2006, **24**: 1461-1466
- [21] Zheng X, Feng X, Shen R, *et al.* Design of optimal water-

- using networks with internal water mains. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2006, **45**: 8413-8420
- [22] Pan Chunhui (潘春晖). A new method for design of the water-using networks with multiple contaminants [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2010

信息与交流

第一次征文通知

第七届

国际煤燃烧学术会议

THE 7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COAL COMBUSTION

(7th ISCC)



中国·哈尔滨

2011年7月17-20日

主办单位

清华大学热能工程研究所

承办单位

哈尔滨工业大学燃烧工程研究所

共同主办单位

国家自然科学基金委员会 (NSFC)
中国国际文化交流中心 (CICEC)
清华大学
哈尔滨工业大学

协办单位

中国电机工程学会
中国动力工程学会
中国工程热物理学会
国际燃烧学会中国分会
哈尔滨锅炉厂有限责任公司
东方锅炉 (集团) 股份有限公司
同方股份有限公司
清华大学-天素投资节能减排联合研发中心
澳大利亚西澳大学 (UWA)
德国工程师协会能源与环境技术分会 (VDI-GET)

荷兰火焰基金会 (IFRF)

日本电力工业中央研究所 (CRIEPI)

日本国际电力研究交流协会 (IERE)

日本石川岛播磨重工株式会社 (IHI)

日本煤炭能源中心 (JCOAL)

日本三菱重工株式会社 (MHI)

日本机械工程师学会 (JSME)

英国能源学会 (EI)

美国机械工程师学会 (ASME)

美国燃烧科学与环境技术研究所 (ICSET)

会议介绍

在 21 世纪, 当今世界面对煤炭利用紧张和环境影响的巨大压力。中国是世界上最大的煤炭生产国和消费国, 同时也是最大的二氧化碳排放国。2009 年的煤炭消耗量达到 30.2 亿吨, 其中一半以上用于发电。截至到 2009 年底, 中国的火力发电装机达到 6.01 亿千瓦, 占总装机容量的 74.6%, 位于世界首位。因此, 洁净煤技术特别是煤燃烧中的低碳排放技术对中国同时对于整个世界具有特别重要的意义。

由清华大学主办的国际煤燃烧学术会议 (ISCC) 从 1987 年起至今已召开了六届。前四届在北京举行, 第五届和第六届分别在南京和武汉举行, 由东南大学和华中科技大学

(下转 2672)